

**МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТА, УСИЛЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫМИ
КОМПОЗИТАМИ**

А.А. Хрюкин, М.В. Смолина

Научный руководитель: старший преподаватель М. В. Смолина

Северо-Восточный федеральный университет,

Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58, 677000

E-mail: hr-art@mail.ru

**MONITORING OF CFRP-STRENGTHENED REINFORCED CONCRETE BRIDGE SPANS IN LOW
TEMPERATURE CONDITIONS**

A.A. Khryukin, M.V. Smolina

Scientific Supervisor: Senior lecturer M.V. Smolina

North-Eastern Federal University, Russia, Yakutsk, Belinsky str., 58, 677000

E-mail: hr-art@mail.ru

***Abstract.** The article discusses strengthening bridges using composite materials at extreme low temperatures. Provides the results some experimental studies FRP strengthened concrete samples at low temperatures.*

Введение. В настоящее время для усиления железобетонных мостов широко используются композитные материалы. Современная технология усиления железобетонных конструкций композитными материалами имеет распространение, как за рубежом, так и в Российской Федерации. Однако, применимость технологии в условиях экстремально низких температур, ранее не была достаточно глубоко изучена и в практике усиления железобетонных конструкций мостовых сооружений композитными материалами нет достоверных данных о работе данной технологии в условиях экстремально низких температур.

I-я дорожно-климатическая зона, на которой расположена большая площадь Республики Саха (Якутия), характеризуется суровыми климатическими условиями. В республике «хорошее» техническое состояние имеют лишь 9 % железобетонных мостов, запроектированные на нагрузки, которые не соответствует современным требованиям (АК-14, НК-14) [1]. Принимая во внимание данный факт, а также учитывая суровые климатические условия эксплуатации мостов Якутии, актуальным вопросом является изучение технологии усиления композитными материалами в условиях экстремально низких температур.

Целью работы является изучение и совершенствование технологии усиления железобетонных конструкций композитными материалами и ее адаптация к условиям низких температур.

Материалы и методы исследования. В рамках исследования ведется мониторинг действительной работы системы усиления композитными материалами на мосту через р. Протока, включающий в себя изучение физического и напряженно-деформированного состояния пролетных строений, обследования сооружения, анализ изменения грузоподъемности моста, инструментальные измерения и проверку внешнего вида системы усиления.

Результаты экспериментальных исследований эффективности усиления образцов при действии отрицательных температур, проведенных в «РОСДОРНИИ» в 2011 году показали, что морозостойкость системы усиления такая, что применение усиления с использованием тканей с углеродными волокнами возможно в строительно-климатических районах от II до V [2]. Следует отметить, что область применения технологии усиления с использованием лент и холстов ограничена по характеристикам клеевого состава, используемого для приклеивания композитного материала на усиливаемую конструкцию, а именно: на территориях с минимальной среднесуточной температурой воздуха наиболее холодных суток (в зимний период) с обеспеченностью 0,95 не ниже -40°C [3]. Среднее значение данного показателя по районам Якутии составляет $-60,2^{\circ}\text{C}$. [4] Для районов с суровым климатом возможность применения наклеиваемых холстов должна быть подтверждена опытными работами.

Подобные эксперименты проводились в СГУПС совместно с СВФУ, под руководством проректора СГУПС по научной работе С.А. Бокарева, д.т.н., профессора. Результаты этих экспериментов показали, что прочность усиленных образцов после 12 циклов попеременного замораживания и оттаивания не изменилась. [3] К этим же выводам приходят исследователи P. Burke, L.A. Bisby, M.F. Green Университета Куинс в Канаде, утверждающие, что нет каких-либо заметных негативных последствий от воздействия низкой температуры на производительность усиления углепластиком железобетонных плит с использованием либо эпоксидных, либо цементных адгезивных составов [5]. Однако, следует обратить внимание на то, что в исследовании «РОСДОРНИИ» и экспериментах Канадских ученых температура замораживания образцов составляла не ниже -36°C и -28°C соответственно. В исследовании СГУПС и СВФУ использовались железобетонные балки размерами $1550 \times 120 \times 220$ мм, которые были подвергнуты циклам замораживания и оттаивания в климатической камере с замораживанием до -50°C в соответствии с методикой определения морозостойкости бетонных образцов размерами $100 \times 100 \times 100$ мм по ГОСТ 10060.2-95. Такой метод ускоренных климатических испытаний определяет характеристику морозостойкости бетонных образцов, но не позволяет получить достаточно данных для полного представления модели работы железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами, эксплуатируемых в суровых климатических условиях. Также температура замораживания образцов, в упомянутых экспериментах, не охватывает температурный режим эксплуатации мостовых сооружений в I-й дорожно-климатической зоне, в частности Якутии.

Следует отметить, что во всех приведенных выше экспериментах разрушение усиленных образцов происходило вследствие отслоения композитного материала с разрушением защитного слоя бетона рабочей арматуры. С этим явлением столкнулись и ученые Мичиганского университета США при изучении усиленных углепластиковыми композитами образцов при действии низких температур. Их результаты показывают, что чем большим количеством циклов замораживания и оттаивания подвергаются усиленные образцы, тем больше возникает усталостных напряжений в зоне контакта клей-бетон, что способствует трещинообразованию [6].

Мониторинг опытной конструкции, усиленной композитными материалами на основе углеволокна, производился в течение четырех лет. Район расположения объекта находится в центральной части Республики Саха (Якутия) на территории микрорайона Кангалассы ГО «Город Якутск» на 11+079 км автомобильной дороги «Подъезд к п. Кангалассы». Местность характеризуется суровыми климатическими условиями, характерными для I дорожно-климатической зоны. Средняя

температура наиболее холодной пятидневки составляет -55°C , среднегодовая температура воздуха $-10,3^{\circ}\text{C}$, средняя температура января составляет -40°C , абсолютный минимум температуры воздуха -64°C [2]. Мост имеет железобетонные тавровые пролетные строения длиной 15 м, усиленные путем наклейки на боковые поверхности по низу ребер лент FibARM Tape-230/300 и ламинатов Sika Carbodur S1012.

Во время мониторинга многократно проводились обследования моста согласно ОДМ 218.3.014-2011. В 2016 году по данным проведенного обследования произведена оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) пролетных строений моста на 4-й год эксплуатации после усиления. Расчет выполнен с учетом изменения НДС, вызванного включением полимерных композитных материалов (ПКМ) в совместную работу с основным материалом пролетного строения. Результаты расчетов, выполненных по методике рекомендованной производителем использованных композитных материалов, составили следующие значения: предельный изгибающий момент — 3548,24 кНм, предельная поперечная сила — 6873,52 кН. По сравнению с данными несущей способности до усиления, прирост по поперечной силе и изгибающему моменту составил 8,08 и 1,4 раза соответственно [1].

Закключение. Применение технологии усиления композитными материалами в суровых условиях Крайнего Севера, в том числе Якутии, позволит обеспечить достаточный уровень надежности и безопасности эксплуатации мостовых сооружений. Однако изученность вопроса использования систем усиления композитными материалами в условиях экстремально низких температур не дает достаточных данных об эффективности их работы, поскольку существующие методики расчета усиленных конструкций не учитывают такие эффекты как нелинейность деформирования и неодинаковость работы железобетона на растяжение и сжатие. В рамках работы предстоит провести дополнительные исследования в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрюкин А.А., Смолина М.В. Оценка напряженно-деформированного состояния пролетных строений моста, усиленного композитными материалами // Наука и образование. – Якутск: Изд-во Академия наук Республики Саха (Якутия). – 2016. – Т.84. – №4. – С. 100–105.
2. Исследование возможности и области рационального применения гибких лент и тканей из композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений с разработкой ОДМ. – М: ФГУП «РОСДОРНИИ», 2011. – 40 с.
3. Изучение свойств полимерных композитных материалов, применяемых для ремонта пролетных строений железобетонных мостов через р. Протока на а/д «Подъезд к п. Кангалассы», и через р. Камалас-Юрях на а/д «Нам». – Якутск: ФГУП «РОСДОРНИИ», 2013. – 70 с.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. - М.: Мин-регион России, 2012. - 264 с.
5. Burke P.J., Bisby L.A., Green M.F. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aslanfrp.com/Resources/NSM%20systems%20with%20elevated%20temp-BISBY.pdf> – 25.04.08.
6. Naaman A., Mar Lopez d. M., Pinkerton L. Repair and strengthening of reinforced concrete beams using CFRP laminates. Vol. 5. – Ann Arbor: Michigan University, 1999 - 53 p.